

# Katkoäänien rikkoutuminen äänentoistossa

**Miksi ääni on huono,  
valkka mittaustulokset ovat hyvät**

Tarkkakorvaiset ihmiset ovat viime vuosina yhä useammin joutuneet toteamaan ristiriidan äänen-toistolaitteiden "suoritusarvojen" ja aistimuksena koetun äänenlaadun välillä. Tämä ilmenee etenkin silloin, kun äänenväri on säädetty "kirkkaaksi": korkeat äänet kuulostavat "sameilta", "karheilta" ja epämiellyttäviltä. Eniten tästä kärsii viulujen ääni erittäinkin silloin, kun on kysymyksessä kokonainen jousisto, mutta myöskin pianon korkeimmat äänet ja kuoroesitykset ovat tässä suhteessa arkoja. — Kuuntelija yrittää auttaa asiaa säätämällä korkeimmat äänet pois. Tämä ei ole kuitenkaan oikea lääke: eräät soittimet, kuten esim. triangeli ja cymbaali, jäävät kokonaan kuulumattomiin. Muut soivat väriltään väärennetyinä, "pehmeinä", luonnottoman tummina, "epämetallisina" silloinkin, kun soitin luonnossa on "metallinen".

Mistä tämä ristiriita johtuu? — Ilmoittavatko laitteiden valmistajat ja maahantuojat myyntimielessä kaunisteltuja ja paranneltuja arvoja! Näin ei suinkaan ole laita. Mittaustulokset ovat sellaisinaan oikeita. Mitään väärentämistä ei edes tarvita: keskeismodulaatio ja muut suoritusarvot saadaan kuinka hyvän ja kauniin näköisiksi tahansa halpaa yleislääkettä, *v a s t a k y t k e n t ä ä*, lisäämällä. Vastakytkentä sellaisena kuin sitä nykyään käytetään, parantaa suoritusarvoja, mutta huonontaa musiikin sisältämien korkeitten äänien toistoa.

Laitteissa tapahtuvaa vääristymistä, säröä ja keskeismodulaatiota, tutkitaan *jatkuvaa ääntä* vastaavilla signaaleilla. Jatkuva ääni on tosin ääntä sekini, mutta se ei oleellisimmilta ominaisuuksiltaan vastaa puhetta tai musiikkia: se ei ole *informaatiota sisältävää ääntä*. Äänen välittämä sanoma perustuu *muutoksiin*. Jatkuva esim. 400 Hz:n summeriääni muuttuu informaatiota sisältäväksi ääneksi vasta, kun *katkomme* sitä morsemerkkien tahdissa. Tämä on samaa kuin amplitudimodulointi. Jos annamme sarjan 0,1 sek. pituisia pisteitä, moduloiva signaali on 20 Hz:n sakara-aalto. Sivuaaltoja syntyy 40 Hz (sakara-aallon spektristä puuttuvat parilliset harmoniset) välein 400 Hz "kantoaallon" kummallekin puolelle.

Sähkötäminen on alkeellisin tapa valmistaa informaatiopitoista ääntä. Täydellisemmät keinot, pu-

huminen ja "musisoiminen" olivat olleet jo tuhansia vuosia käytännössä ennen kuin Samuel Morse avasi maailman ensimmäisen sähkölennätinlinjan.

## Musiikin ja puheen fysiikkaaliset ominaisuudet

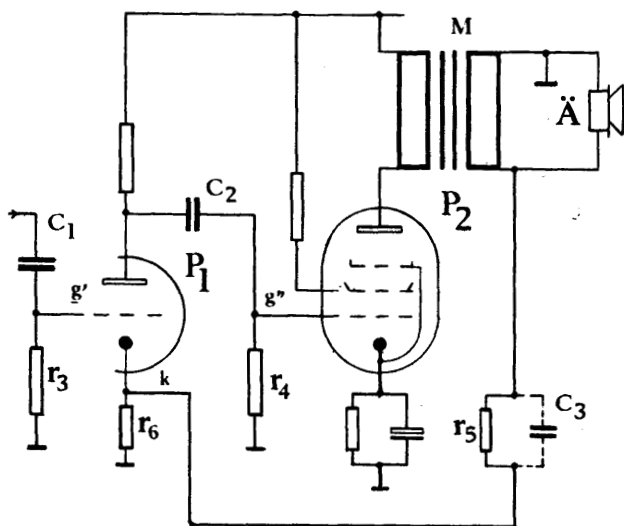
Kun mainitaan sana *ääni*, mieleen tulee ensinnä "puhdas" sinivärähtely — tai ainakin samanlaisena jatkuva värähtely. Viimemainittuja ovat esim. puheen sisältämät vokaalit.

Puheen sisältämän informaation kannalta ovat kuitenkin konsonantit tärkeämpiä siitä huolimatta, että niiden kesto-aika on vain murto-osa vokaalien kestoista. Vokaaleja voimme ääntää eri korkuisina. Tähän perustuu laulaminenkin. Konsonanteilla ei ole erityistä sävelkorkeutta. Tämä johtuu ainakin osaksi niitten lyhyydestä. Jos katkomme summeriäänen hyvin lyhyihin osasiin, emme tajua äänen korkeutta, vaan kuulemme vain naksahduksia. Konsonantit eivät ole kuitenkaan niin lyhyitä, että sävelkorkeuden puuttuminen voitaisiin sillä selittää. Lähempänä totuutta on, että konsonantin taajuus muuttuu sen keston ajan. Konsonantit ovat siis "taajuusmodulointia" ääntä. Tästä myös johtuu, että emme voi jakaa konsonantteja samalla tavalla harmonisiin komponentteihin, Fourier-analysoida, kuin vokaaleja.

## Mitä vastakytketyssä vahvistimessa tapahtuu

Särökertoimen mittaamista pidettiin aikoinaan suurena edistysaskeleena. Se olikin selvä ja kiistan vääristymän mittapuu — ja on vieläkin — ellei mitattavassa laitteessa ole vastakytkentää! Vastakytkennällä aikaansaatu "keinotekoinen" suoraviivaisuus on voimassa vain *jatkuvilla värähtelyillä*. *Muutoksiin* vastakytkentä vaikuttaa tuhoisasti — ja juuri muutoksethan ovat äänen välittämää ja sisältämää informaatiota, kuten edellä totesimme.

Kuva 1 esittää yksinkertaista vastakytkettyä vahvistinta. Saadaksemme mielikuvan siitä, mitä vastakytkentä tekee muutoksille, syötämme siihen katkoääntä vastaavan "pulssin" T (kuvassa 2). Kuljetuaan vahvistimen läpi se palaa erään hetken (1...50  $\mu$ s) kuluttua "vastakytkentäjännitteenä" ensimmäisen putken katodille k, (katkoviiva K). Tänä aikana vahvistimme toimii *vastakytkemättömä-*



Kuva 1.  
Vahvistin, jossa on "pitkä" vastakytkentä.

nä. Jos siis vastakytkentä on esim. 20 dB, vahvistus on tänä "viiveaikana" 10 kertaa niin suuri kuin normaalisti, kun vastakytkentä on ehtinyt mukaan.

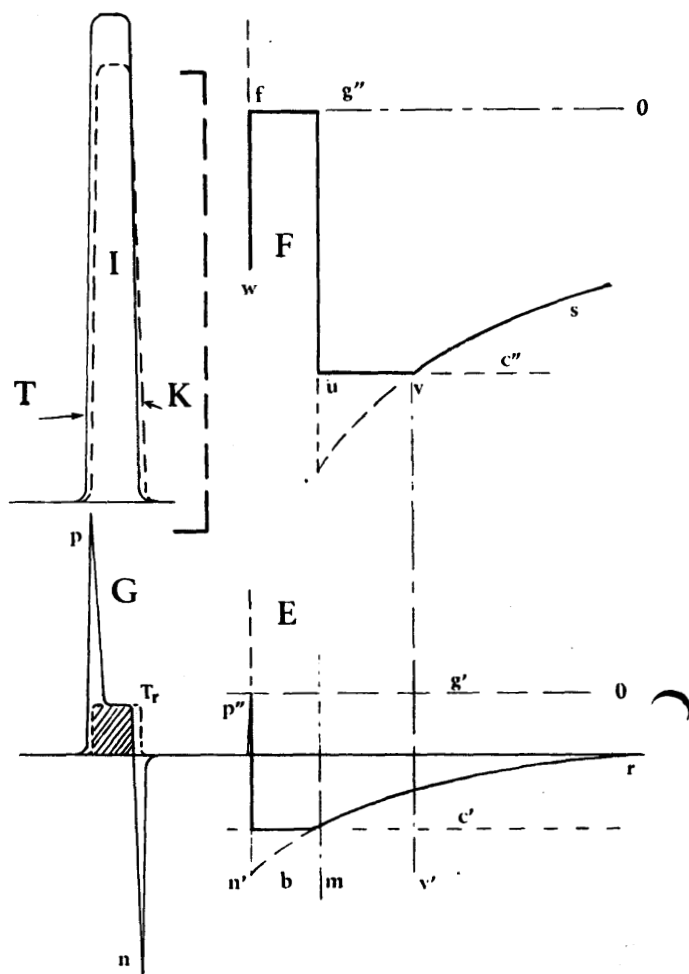
Ensimmäisen putken hilan ja katodin välille syntyy jännite G (kuva 2). Alkuperäistä vahvistettavaa "katkoa" esittää samassa mittakaavassa katkoviiva Tr. Vastakytkennän myöhästymisen aiheuttaa siis katkon alkuun ja loppuun "loispulssit" p ja n. Loispulssien korkeus riippuu vastakytkennän voimakkuudesta, 20 dB vastakytkennällä p ja n ovat 10 ja 9 kertaa korkeammat kuin alkuperäinen katko, 40 dB vastakytkennällä ne ovat vastaavasti 100- ja 99-kertaiset.

Loispulssit edustavat yleensä korvin kuulumatoman korkeata taajuutta (20... 1000 kHz). Kun ohjausta lisätään, loispulssit aloittavat hilavirran aikaisemmin kuin itse katkoäänien ja muu vahvistettava signaali, koska ne ovat vastakytkennän verran korkeampia. Jos alkuperäinen katko on positiiviseen suuntaan, ensimmäisessä asteessa syntyy hilavirta, joka varaa kytkinkondensaattorin C<sub>k</sub> negatiiviseksi (E). Hilalle jää negatiivinen varaus, joka purkautuu vastuksen r, kautta käyrän n'...r mukaan pois. Ensimmäisen asteen anodivirta on nollassa ajan n'...m. Samanaikaisesti pääteputken anodivirta on suurimmillaan (F). Pääteasteessa kulkee hilavirta, joka varaa kondensaattorin C<sub>k</sub>. Kun anodivirta rupeaa ensimmäisessä putkessa jälleen kulkemaan, pääteputken anodivirta menee vuorostaan nollassa. Vahvistin on "tukossa" ajan n'...m ja u...v. Jos tukkeutumisaika on lyhyt, matalien toisto ei tästä paljon kärsi. Tukkeutumisaikana tulleet katkoäänien sitävastoin pyyhkiytyvät pois. Korkeitten äänien toisto muuttuu tunnetulla tavalla sameaksi ja karheaksi.

Kun tutkimme tätä vahvistinta sinivärähtelyillä, emme huomaa siinä mitään vikaa.

Sakara-aalto sisältää nopeita muutoksia. Sekään ei kuitenkaan paljasta katkoäänien rikkoutumista, koska se on jo valmiiksi sitä, miksi katkoäänien rikkoutuessaan muuttuvat.

Putkivahvistimet toimivat osakuormalla katkoäänien rikkomatta. Tämä on eräs syy siihen, miksi hyvää ääntä haluttaessa usein käytetään 50 W vahvistimia silloinkin kun 5 W riittäisi.



Kuva 2.

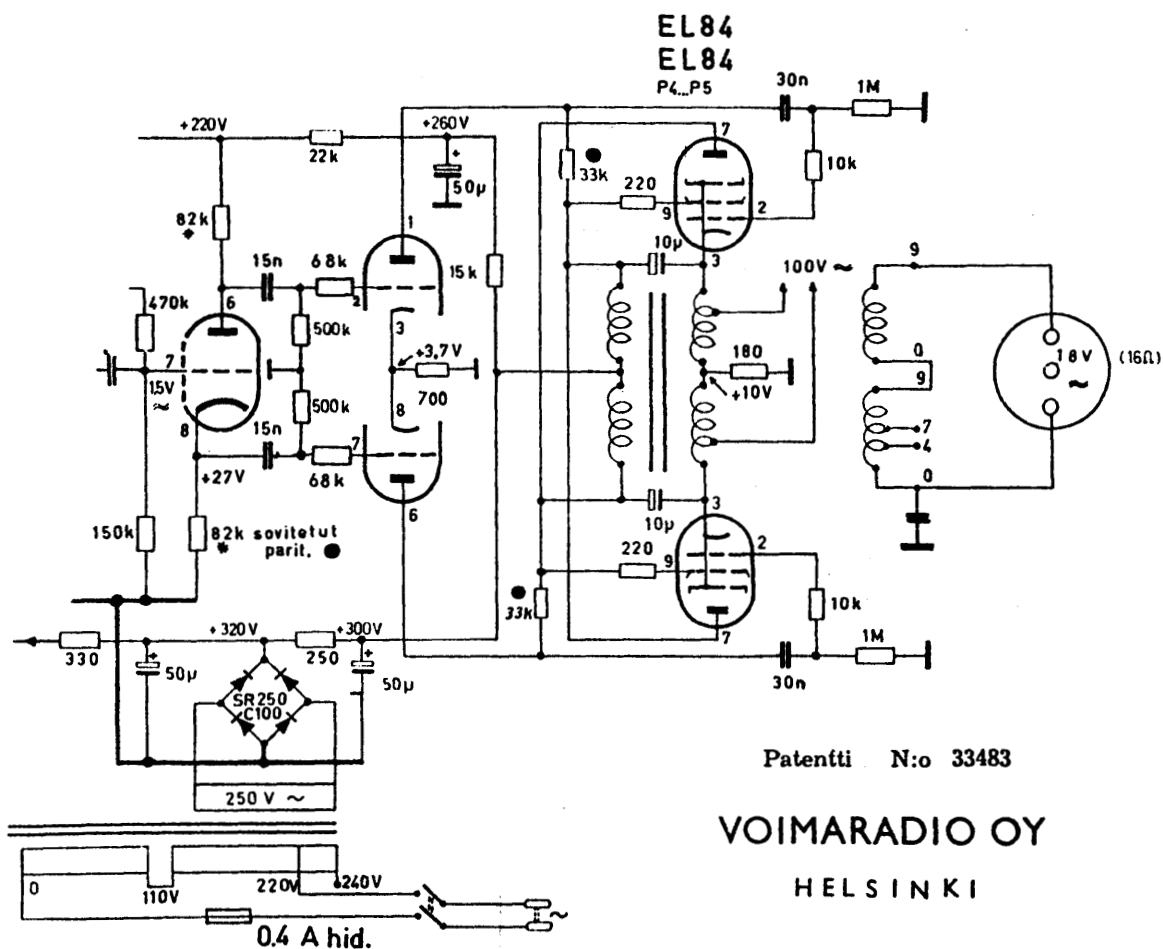
Miten pitkä vastakytkentä aiheuttaa katkoäänien (T) vääristymisen. Vahvistin toimii erään hetken vastakytkemättömänä. Vahvistus on tänä aikana vastakytkennän verran suurempi kuin normaalisti. Tämä synnyttää "loispulseit" p ja n, jotka vuorostaan aiheuttavat ylikuormitusta sekä ohjainasteessa (E) että pääteasteessa (F). Käytännössä "katkot" eivät ole niin jyrkkiä kuin yllä; ohjelmälähteistä ei saada eikä tarvita mitään yli 15 kHz. Tämä pyöristää ja loiventaa pulsseja, mutta ei oleellisesti muuta ilmiön luonnetta.

Transistorivahvistimissa "parasiittipulssien" tasa-suuntautuminen alkaa jo aivan nollassa asti. Koska niissä täytyy käyttää hyvin voimakkaita vastakytkentöjä – jopa 40 dB – särön kurissa pitäiseksi, katkoäänienkin vääristyminen ilmenee niissä vielä paljon pahempana. Transistorit on poimittu "Hi-Fi"-käyttöön raakileina, päähoukuttimena tähän on ollut laitteiden halpuus.

Vastakytkentä parantaa jatkuvien värähtelyjen toistoa ja niillä mitattavia suoritusarvoja, mutta rikkoo nopeita muutoksia sitä enemmän mitä nopeammista muutoksista on kysymys. Ilmiö on siis pahin korkeilla äänillä.

#### Miten saadaan aikaan puhdas musliikin toisto

Varma keino vastakytkennän aiheuttaman katkoäänien rikkoutumisen välttämiseksi on vastakytkennän jättäminen kokonaan pois. Silloin ei kuitenkaan voitaisi käyttää edes pentodeja pääteasteessa transistoreista puhumattakaan – onko siis palattava



## VOIMARADIO OY

**Kuva 3.**

vanhan ajan triodivahvistimiin? Monet todella tekevätkin näin: eräskin äänilevyjen valmistaja, jonka tuotteet ovat tunnettuja puhtaasta soinnistaan, ilmoittaa käyttävänsä levyleikkureissaan "erikoisvalmisteisia 200 W triodivahvistimia". — Triodivahvistimissa ei olekaan muuta vikaa kuin hinta.

Kriteerioiden täyttämiseksi vastakytkenäkietjuun on liitettävä "vaihetta kääntävä elin", yksinkertaisimmassa tapauksessa, kuten kuvassa 1, kondensaattori ( $C_s$ ). Tämä ei kuitenkaan pysty millään tavalla *nopeuttamaan* vahvistimeen syötetyn muutuneen signaalin saapumista vastajännitteeksi alkupäähän (k). Nopeutuminen on näennäistä ja se perustuu vahvistimen läpi jo ehtineen ja samanlaisena jatkuvan signaalin *vaiheen siirtämiseen* eteenpäin.

**Vahvistin, joka toistaa katkoäänet yhtä puhtaasti kuin vastakytkemätön triodivahvistin**

Vahvistin on mitoitettu niin, että särö (keskeis-modulaatio) on pieni ilman vastakytkentääkin. Vaiheenkääntö tapahtuu pienellä tasolla. Pääteasteen edessä on vuorovaiheinen ohjainaste, jota puoletaan symmetroi yhteinen katodivastus.

korvin kuulumattoman pieniä siis täydelläkin ohjauksella.

### Särön vaikutusta illoitellaan vahvistimien osalta

Äänilevyiltä saatavan ohjelman särö on pienimmillään keskimäärin 8 %, kovaäänisten särö on 10 % luokkaa. Tästä tulee kokonaissäröksi jo 12,8 %. Tätä ei vahvistin pysty pienentämään vaikka sen särö olisi 0 %.

Peräkkäisissä asteissa tapahtuvat säröt lasketaan yhteen geometrisesti, siis

$$K_{\text{kok}} = \sqrt{K_a^2 + K_b^2 + K_c^2}$$

Jos siis vahvistimen särö on 2 %, kokonaissärö on 13 %, vain 0,2 % isompi kuin jos vahvistimen särö olisi 0 %. 5 % särö antaisi kokonaissäröksi 13,7 %. Huomaamme, että vahvistimen särö on äänenlaadun kannalta pienin tekijä ketjussa. Vahvistimen säröstä puhutaan paljon koska se on helpoin mitata ja koska se voidaan huokein keinoin tehdä kuinka pieneksi tahansa.

Huolimatta pienestä säröstä, vahvistin kuitenkin huonontaa ääntä eniten, koska särön pienentämisinnossa on jätetty katkoäänien rikkoutuminen ottamatta huomioon.

Äänen "hyvyyttä" ei voida tekniikan nykyisellä tasolla "mitata". Mittauksin voidaan todeta vain "huonous": särö tai keskeismodulaatio. Mutta vaikka nämä arvot olisivat pienetkin, ääni voi silti olla "huono". Äänenlaatua voidaan arvostella vain kuuntelukokein. Sitä, miten kirkkaana ääntä voidaan kuunnella, pidetään hyvän toiston tunnusmerkkinä.

Nykyisiä äänentoistolaitteita ei voida kuunnella "kirkkaana" ilman, että tarkka korva protestoi. Jotkut syyttävät tästä ohjelmälähteitä, toiset kovaäänisiä. Kenenkään mieleen ei ole juolahtanut epäillä vahvistimia, niittenhän särö on pieni!

Katkoäänien rikkoutuminen on pysynyt piilossa sentähden, että laitteita tutkitaan vain jatkuvilla värähtelyillä. Pidetään selviönä, että tämä vastaa puhetta ja musiikkia, informatiivista ääntä. Tämä on dogmiuskoa ja se onkin johtanut äänentoistotekniikan väärille raiteille. Vasta sitten, kun vastakytkentää käytetään niin, että se ei riko katkoäänä, keskeismodulaation tai harmoonisen särön mittaustulokset antavat vertailukelpoisia arvoja. Vastakytkennän oikea käyttäminen ei ole vaikeata: on luovuttava "pitkistä" ketjuista, useamman asteen yli, kuten edellä on esitetty.

### Lähdekirjallisuus:

- 1) Naturwissenschaftliche Probleme der Musik, Priv. doz. Dr. Ing. F. Winckel, Berlin 1955. (Klangstruktur der Musik, Radio-Foto-Kinotechnik GMBH).
- 2) Äänitaajuisten jännitteiden vahvistimet, A. M. Kuusela.
- 3) Der Einfluss von Zusammensetzung und Dynamik der Wechsellastung auf die Arbeitsweise des Niederfrequenzleistungsverstärkers. Von K. Steimel, Die Telefunken-Röhre, Sonderheft zum 70. Geburtstag Prof. Dr. Dr.-Ing.e.h. Hans Rukop 1953.
- 4) Power Amplifier Owerload Characteristics and their Importance, R. A. Greiner, Prof., College of Engineering, University of Wisconsin. Audio, June 1966.
- 5) Erforderlig uteffekt för realistisk musikåtergivning... Lars-Olof Lennermalm, Radio och Television, Nr 5/1960.
- 6) Understanding Hi-Fi Circuits, Norman H. Crowhurst, Gernsback Library Inc 1957.

1 1969 ERT

## Uusi perspekta-stereovastaanotin Voima OP 3

Maailman täydellisin äänensiirtojärjestelmä. Tunnette istuvanne suuressa konserttisalissa parhailla kuuntelupaikoilla.

Jos kuitenkin kyllästyitte luonnonmukaiseen kuunteluun, voitte helposti palata takaisin "vanhaan stereoon", sillä uudesta laitteestamme on saatavissa myöskin vasen-oikea-signaalit.

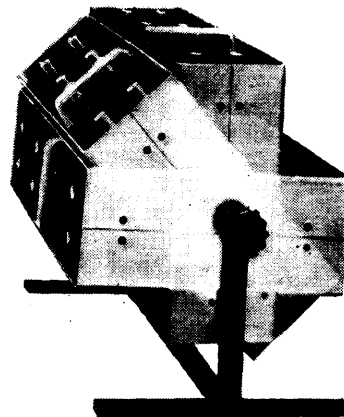
Musiikkiteho (n. 30 W) riittää 250 hengen salille.

Transienttien (katkoäänien) toisto on puhdas. Koekuunnellakaa, niin huomaatte eron! – Viulut soivat heleinä ja kirkkaina, erillisinä – aivan kuin kuuntelisitte niitä omin korvin.

Matalien toisto on muhkea ja pehmeä.

Voima OP 3 hyväksyttiin kansainväliseen teollisten taiteiden näyttelyyn, Milanon XIV Triennaleen 68. Ulkoasusta vastaa sisustusarkkitehti Yrjö Turkka.

Uusi stereo on suojattu patenteilla 33483 ja 35014 (Tapio Köykkä). Lisätietoja annamme!



## VOIMARADIO OY

Sipoonkatu 11 Helsinki 52. Puh. 763 241 – 777 287